

# Bulletin of Gulistan State University

---

Volume 2019 | Issue 1

Article 1

---

3-20-2019

## FEATURES OF GROWING SOLID SOLUTION $(\text{Si}_2)_{1-X}(\text{GaP})_X$ AND RADIATIVE PROPERTIES OF STRUCTURES ON ITS BASIS

A.S Saidov

*Gulistan State University, [dada@uzsci.net](mailto:dada@uzsci.net)*

S.N Usmonov

*Gulistan State University*

D.V Saparov

*Gulistan State University*

Sh.K Niyazov

*Gulistan State University*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/gulduvestnik>



Part of the [Higher Education Administration Commons](#)

---

### Recommended Citation

Saidov, A.S; Usmonov, S.N; Saparov, D.V; and Niyazov, Sh.K (2019) "FEATURES OF GROWING SOLID SOLUTION  $(\text{Si}_2)_{1-X}(\text{GaP})_X$  AND RADIATIVE PROPERTIES OF STRUCTURES ON ITS BASIS," *Bulletin of Gulistan State University*. Vol. 2019 : Iss. 1 , Article 1.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/gulduvestnik/vol2019/iss1/1>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Bulletin of Gulistan State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

***Fizika, matematika va axborot texnologiyalari***

УДК 666.3.017

**ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТВЕРДОГО РАСТВОРА  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР НА ЕГО ОСНОВЕ**

А.С.Саидов\*, Ш.Н.Усмонов\*, Д.В.Сапаров\*, Ш.К.Ниязов\*\*

\*Физико-технический институт НПО «Физика – Солнце» АН РУз

\*\*Гулистанский государственный университет

**E-mail:** *dada@uzsci.net*

Выращивание твердых растворов различных полупроводников представляет несомненный интерес для развития современного полупроводникового материаловедения, так как твердый раствор, синтезированный из нескольких полупроводников, может объединить в себе достоинства каждого из компонентов. Плавное изменение состава твердого раствора, можно управлять параметрами твердого раствора, такими как ширина запрещенной зоны, область спектральной фоточувствительности, параметр решетки и так далее. Например, если синтезировать твердый раствор, состоящий из компонентов кремний и фосфид галлия, то этот твердый раствор объединяет в себе области спектральной фоточувствительности кремния и фосфида галлия и имеет более широкую область спектральной фоточувствительности, чем кремний и фосфид галлия. Расширение области спектральной фоточувствительности прибора имеет важное значение для создания эффективных солнечных элементов.

**Материал и методы**

Кроме того, для интенсивного развития микроэлектроники необходимы полупроводники со значительно более высокими, чем у кремния Si пробивными электрическими полями, шириной запрещенной зоны, большой подвижностью электронов и устойчивые к высоким температурам. Фосфид галлия является перспективным широкозонным полупроводником, с шириной запрещенной зоны 2,26 эВ, и на его основе изготавливаются приборы, работающие в высокотемпературных условиях, вплоть до 400°C. Однако, фосфид галлия является дорогим полупроводниковым материалом так, как запасы его компонентов на земле очень малы, что значительно ограничивает его широкое применение в полупроводниковой промышленности.

С другой стороны, для изготовления полупроводниковых приборов достаточно пленки полупроводника толщиной 5-10 мкм. Поэтому является актуальным выращивание эпитаксиальных пленок перспективных материалов, таких как фосфид галлия на доступные кремниевые подложки. Это дает возможность интеграции этих материалов в кремниевую электронику, так как многие существующие технологические линии рассчитаны для кремния.

Однако, при выращивании фосфида галлия на кремниевую подложку возникают трудности из-за различия термических коэффициентов расширения примерно в два раза ( $\alpha_{\text{Si}} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ,  $\alpha_{\text{GaP}} = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Из-за этого в пленке образуются множество дефектов. На дефектах происходит рассеяние носителей заряда, что значительно ухудшает характеристики полупроводниковых приборов, изготовленных на их основе.

Для устранения этих недостатков, мы решили использовать буферный слой, расположенный между Si подложкой и пленкой GaP. Буферный слой состоит из непрерывного твердого раствора замещения  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ), у которого состав плавно изменяется от Si до GaP по мере наращивания пленки.

Так как выращивание эпитаксиальных пленок дорогих и востребованных полупроводниковых материалов на доступные подложки позволяет значительно снизить стоимость полупроводникового прибора, производство эпитаксиальных пленок полупроводников для нужд промышленности увеличивается с каждым годом примерно на 10-12%.

**Полученные результаты и обсуждение**

Мы изучили возможности образования твердого раствора между кремнием и фосфидом галлия. Есть определенные критерии, определяющие возможность образования твердого раствора. Согласно этим критериям для некоторых химических элементов при атомарном замещении компонентов твердый раствор не может образоваться. При молекулярном замещении может образоваться твердый раствор [1].

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

Для образования твердого раствора замещения между кремнием и фосфидом галлия необходимо создавать условия для молекулярного замещения, то есть молекулы кремния должны быть замещены молекулами фосфида галлия. Эти условия были созданы на основе модели А.С. Саидова. Согласно этой модели, полупроводниковые соединения  $A^3B^5$  и  $A^2B^6$  при растворении в металлических растворителях, при температурах значительно ниже, чем температуре плавления этих соединений, находятся в основном в виде молекул. При растворении фосфида галлия в галлии, при температуре  $950^\circ\text{C}$ , молекулы фосфида галлия не распадаются на отдельные атомы Ga и P, а находятся в виде молекулы GaP, так как температура недостаточна для обрыва ковалентной связи Ga-P.

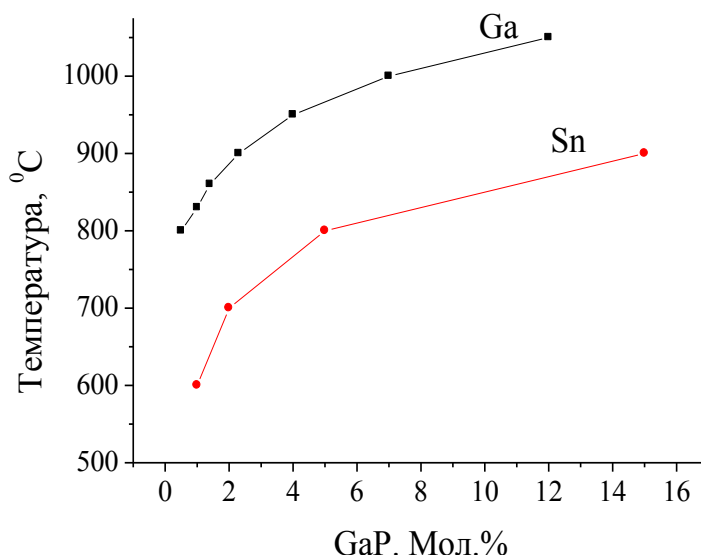


Рис. 1. Растворимость GaP в Ga и Sn.

Была исследована растворимость фосфида галлия в галлии и в олове (Рис.1). Растворимость фосфида галлия в галлии очень маленькая, и при температуре  $950^\circ\text{C}$  составляет 4 мол. %.

● - GaP мол.    ● - P    ● - Ga

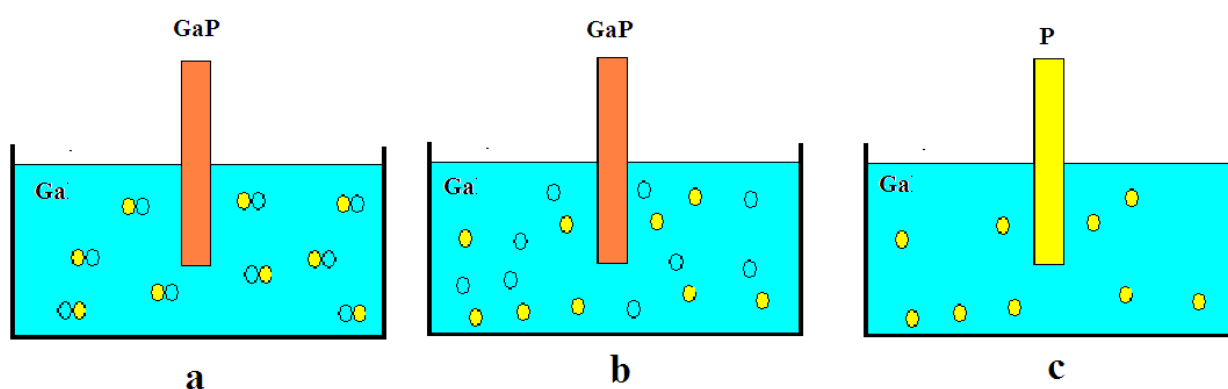


Рис.2. Растворение GaP в Ga .

Согласно модели А.С.Саидова, растворенный фосфид галлия находится в виде молекул Ga-P (Рис.2.a). Если бы молекула фосфида галлия разделился на отдельные атомы галлия и фосфора (Рис.2.b), то это было бы равносильно тому, как растворения фосфора в галлии (Рис.2.c). При температуре  $950^\circ\text{C}$ , галлий и фосфор имеют неограниченную растворимость. При такой температуре галлий находится в жидкой, а фосфор в газообразной форме. Следовательно, весь кристалл фосфида галлия, положенный в галлий при  $950^\circ\text{C}$ , должен полностью раствориться. Этого не происходит, растворимость фосфида галлия в галлии ограничена. Следовательно, можно сказать что, растворенный фосфид галлия в галлиевом растворе находится в виде молекул Ga-P. Основываясь на результаты,

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

предварительно полученных экспериментальных данных, можно сказать, что  $\text{Si}_2$  и GaP образуют непрерывный твердый раствор замещения.

В работе [2] автор получил метастабильный варизонный твердый раствор  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ . Нами была разработана технология выращивания непрерывных твердых растворов  $(\text{C}_2^4)_{1-x}(\text{A}^3\text{B}^5)_x$  из жидкой фазы [3].

С целью установления зависимости качества пленок от состава, температуры начала кристаллизации и скорости принудительного охлаждения были проведены эксперименты с изменением необходимых параметров. Исследования показали, что наиболее качественные эпитаксиальные пленки непрерывного твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  получаются при охлаждении раствора-расплава со скоростью 0,5-1,5 град/мин. Толщина раствора-расплава, то есть ширина зазора между двумя горизонтально расположенными подложками составляет - 0,75-1 мм. Это объясняется тем, что при принудительном охлаждении происходит неоднородный отвод тепла из разных слоев кристалла, например, отвод тепла от последних кристаллизующихся слоев идет быстрее, чем от начальных слоев, т.е. возникает градиент температуры между этими слоями. Эпитаксиальная пленка выращивалась при температуре начала кристаллизации и окончания кристаллизации соответственно  $980^\circ\text{C}$  и  $830^\circ\text{C}$ . Состав раствора-расплава, состоящего из Sn, Si и GaP, определялся из диаграммы состояния двойного сплава Sn-Si, с учетом растворимости GaP в олове. Состав раствора-расплава: Sn - 100 гр, Si - 1,8 гр, GaP - 2,5 гр.

Выращенные эпитаксиальные пленки  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  имели n-тип проводимости, а их толщина, в зависимости от параметров технологического процесса, изменялась в пределах 15-30 мкм. Для исследования распределения компонентов по толщине слоя был использован микроанализатор "Самса". Исследования показали, что содержание Ga и P в эпитаксиальном слое  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  увеличивается по направлению роста и достигает Ga – 48% и P- 52%, а Si уменьшается до нуля на поверхности пленки.

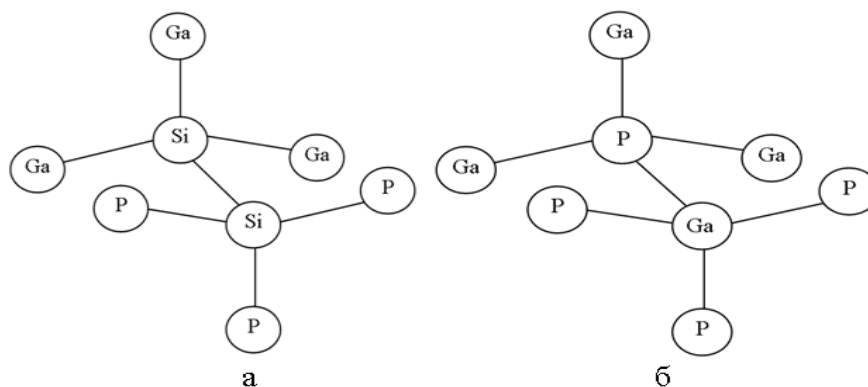


Рис.3. Пространственные конфигурации тетраэдрических связей атомов молекул твердого раствора замещения  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  (а) и GaP (б).

На рис.3 представлена пространственные конфигурации тетраэдрических связей атомов молекул твердого раствора и фосфида галлия, которые состоят из ковалентных связей Si-Si, Si-Ga, Si-P и Ga-P. Как видно из рисунка, место одного атома галлия и одного атома фосфора на узле кристаллической решетки твердого раствора занимают два атома кремния и образуют молекулу кремния в кристаллической решетке фосфида галлия.

На рис.4 приведён спектр фотолюминесценции твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ , измеренный при 5 К. Как видно из рисунка спектр фотолюминесценции  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  имеет широкий диапазон от 400 до 900 нм, с максимумом излучения при  $\lambda_{\text{max}} = 550$  нм, что соответствует энергии фотонов 2.26 эВ. Этот максимум обусловлен широкозонным компонентом (GaP), который составляет основную часть твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  на поверхности эпитаксиальной пленки, у которого  $E_g = 2.26$  эВ. В длинноволновой области спектра фотолюминесценции наблюдается еще один пик при 840 нм, что соответствует энергии фотонов 1,47 эВ. Появление этого пика, по-видимому, обусловлено ковалентными связями Si-Si, которые образуют размытой полосы энергетических уровней, расположенной в запрещенной зоне твердого раствора. Хотя энергия обрыва ковалентной связи Si-Si в кристаллической решетке чистого кремния при 5 К составляет 1,2 эВ. Однако, как показывает экспериментальные результаты фотолюминесценции, когда молекулы  $\text{Si}_2$  расположены в

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

кристаллической решетке  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ , под действием окружающих атомов Ga и P, энергия обрыва связи Si-Si изменяется и составляет 1,47 эВ. Это наше предположение основано на том, что мы и ранее наблюдали появление таких пиков, обусловленных молекулами  $\text{Si}_2$  в спектре фотолюминесценции твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaAs})_x$  при 1,31 эВ,  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnSe})_x$  при 1,66 эВ [4] и  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  при 1,82 эВ [5]. Эти результаты свидетельствуют о существовании некоей закономерности, которое заключается в том, что чем больше ширина запрещенной зоны базового материала, в которую кремний введен в качестве примеси или образует с ним твердый раствор, тем при больших энергиях кремний дает пик в спектре фотолюминесценции. Как можно объяснить это явление? Как известно при образовании твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  молекула кремния, состоящее из двух атомов, замещает в кристаллической решетке GaP один атом Ga и один атом P расположенных по соседству (Рис.3) и образует ковалентную связь Si-Si. При этом расстояние между атомами кремния изменяется по сравнению с объемным кремнием так, чтобы соответствовать расстоянию между атомами базового материала. Известны случаи, когда параметр решетки одного материала под действием атомов другого материала изменялось в большую или меньшую сторону. То есть параметры решеток сопрягающихся материалов стараются принимать одинаковое значение. Например, в 1933 году Финч и Кворелл сообщили об открытии нового явления, названного ими «поверхностным псевдоморфизмом» [6]. Это явление заключалось в том, что в плоскости срастания, значения параметра кристаллической решетки нарастающей фазы в результате ее упругой деформации становятся такими же, как у подложки. Изменение параметров образующейся фазы могло достигать десятков процентов. Таким образом, кристаллическая структура подложки, определяя расположение атомов нарастающей фазы, приводила к образованию кристаллов с необычным для них параметром решетки. Таким образом, мы можем говорить об изменении расстояния между атомами Si, расположенных в окружении молекул GaP.

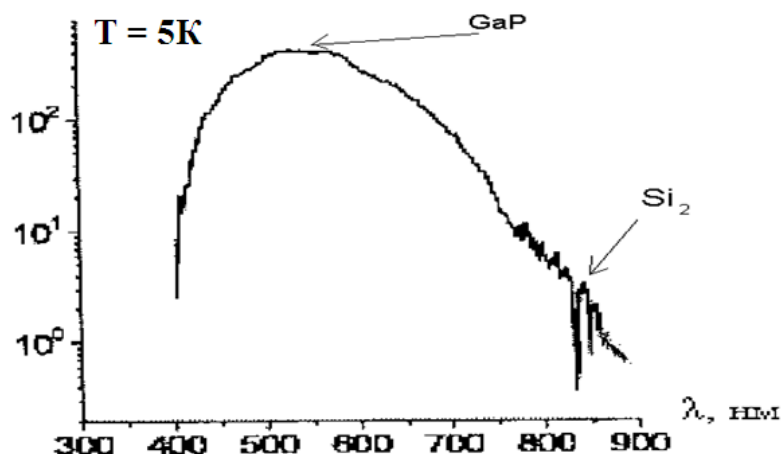


Рис.4. Фотолюминесценция твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ , измеренная при 5 К.

С другой стороны наблюдается корреляция между параметром решетки полупроводника и его шириной запрещенной зоны. То есть, чем меньше постоянная решетки, тем больше энергия связи между соседними атомами в кристаллической решетке, тем больше энергии требуется, чтобы разорвать эту связь и образовать электронно-дырочную пару [7].

Следовательно, можно сказать, что, когда молекула кремния располагается в кристаллической решетке другого материала, замещая молекулу базового материала, чем больше ширина запрещенной зоны базового материала, тем больше сокращается расстояние между атомами кремния и тем больше увеличивается энергия связи этих атомов.

Исходя из вышеприведенных рассуждений, при определенных условиях можно заранее качественно определить, какой энергетический уровень создаст молекулы данного полупроводника в энергетической зонной диаграмме другого полупроводника.

#### Вольтамперная характеристика $p\text{-Si-n-}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ гетероструктур

Одним из основных характеристик полупроводниковых приборов является их устойчивое функционирование при изменении температуры окружающей среды и сохранение основных

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

параметров в определенном интервале температур. С этой целью были исследованы вольтамперные характеристики (ВАХ)  $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}\text{(GaP)}_x$  гетероструктур при различных температурах. Для исследования ВАХ создавались омические контакты к гетероструктуре, методом вакуумного напыления серебра – сплошные с тыльной стороны и четырехугольные, с площадью 6 мм<sup>2</sup>, со стороны эпитаксиального слоя. ВАХ снимались в прямом и обратном направлениях при изменении температуры от 20 до 160°C (рис. 5). В диапазоне напряжений от 0 до 3 В, в прямом направлении ВАХ не наблюдается насыщение тока при всех температурах, что свидетельствует о низкой плотности поверхностных состояний.

Анализ полученных экспериментальных результатов показывает, что ВАХ исследованной гетероструктуры слабо зависит от температуры. В интервале температур от 20 до 160 °С форма ВАХ гетероструктуры изменяется незначительно, что свидетельствует о хорошей термической стабильности  $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}\text{(GaP)}_x$  перехода. Это явление, по-видимому, связано с особенностями образования твердого раствора (Si<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(GaP)<sub>x</sub>. При образовании твердого раствора (Si<sub>2</sub>)<sub>1-x</sub>(GaP)<sub>x</sub> либо два атома кремния Si<sub>2</sub> замещают молекулу GaP в кристаллической решетке фосфида галлия, либо молекула GaP замещает молекулу кремния Si<sub>2</sub> в кристаллической решетке кремния. В обоих случаях инородная молекула является изовалентной примесью, дающей глубокий энергетический уровень в запрещенной зоне базового материала. Существование изовалентных примесей [8-10] в полупроводниковых структурах приводит к целому ряду особенностей их электрических характеристик, которые представляют практический интерес в связи с возможностью использования таких структур в микро- и нанoeлектронике. В этом направлении перспективным представляется использование эффектов, обусловленных действием фото- и токовой модуляции заряда примесных центров в полупроводниковых структурах, приводящих к линейным и сублинейным токовым характеристикам.

Как известно, в биполярных  $p\text{-n}$  структурах обычно не рассматриваются уравнения для переноса электронов и дырок отдельно, а получают уравнение, описывающее так называемый амбиполярный перенос свободных носителей в базе  $p\text{-n}$  структуры путем математических преобразований [11]:

$$D_a \frac{d^2 p}{dx^2} - v_a \frac{dp}{dx} - u = 0 \quad (1)$$

Здесь  $D_a$  - амбиполярный коэффициент диффузии, который равен

$$D_a = D_p \frac{2b(\gamma + 1)}{b(\gamma + b + 1)}, \quad (2)$$

$v_a$  - это амбиполярная скорость дрейфа, которая в общем случае определяется выражением

$$v_a = \frac{\mu_a}{(b\gamma + b + 1)p} \left\{ N_d - \left[ \frac{dE}{dx} - p \frac{\partial}{\partial p} \left( \frac{\partial E}{\partial x} \right) \right] + N_t^+ - p \frac{\partial}{\partial p} (N_t^+) \right\} E_J, \quad (3)$$

где  $E_J = \frac{J}{q\mu_p(b\gamma + b + 1)p}$  - электрическое поле в базе,  $\gamma = N_t / p_{1t}$  - фактор прилипания,  $N_t$

- полная концентрация центров прилипания,  $N_t^+$  - количество центров прилипания, захвативших дырку,  $p_{1t} = N_v \exp(-\Delta E_t / kT)$  - статистический фактор Шокли-Рида для уровня центров прилипания,  $\Delta E_t = E_v - E_t$  - энергия активации уровня центров прилипания  $E_t$ ,  $\mu_a = \mu_n / (b\gamma + b + 1)$  - амбиполярная подвижность,  $u$  - скорость рекомбинации неравновесных носителей, если она подчиняется статистике Шокли-Рида,  $\tau$  - время жизни неосновных носителей (в нашем случае – дырок),  $b = \mu_n / \mu_p$  - отношения подвижности электронов и дырок.

В нашем случае размытия примесного уровня, амбиполярная скорость дрейфа примет вид.

$$v_a = \frac{Jp^{-\alpha kT}}{qb\gamma} \quad (4)$$

где  $J$  - плотность тока,  $1/\alpha$  - «характеристическая» энергия, определяющая полуширину полосы размытия примесного уровня. Если  $\gamma = 1$  при  $\alpha kT > 2$  и  $\gamma = \alpha kT$  при  $\alpha kT < 1$  [9], то из (4) следует, что в таком случае амбиполярная скорость дрейфа зависит не только от плотности тока, но и от концентрации неравновесных носителей.

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

Решая уравнение (1) с учетом (2) мы получим выражение температурно – независимой ВАХ в виде [12,13]

$$J = J_0 e^{AqV} \quad (5)$$

где  $A=2\alpha$ , здесь параметр « $A$ » можно вычислить по формуле  $A = \frac{\ln\left(\frac{J_2}{J_1}\right)}{q(V_2 - V_1)}$ ,  $q$  –элементарный заряд,  $V$  – напряжение.  $J_1$  и  $J_2$ - плотности тока,  $V_1$  и  $V_2$  - напряжения соответствующие двум точкам экспоненциального участка ВАХ.

Анализ прямой ветви ВАХ показывает, что зависимость тока от напряжения можно экстраполировать по степенной зависимости типа  $I = AV^m$ , с разными значениями показателя степени  $m$  и экспоненциальной зависимостью. Начальный участок от 0,2 В до 0,75 В представляет степенной участок с показателем  $m$ , который уменьшается от 1,65 до 1,12 с ростом температуры (рис. 5).

С ростом приложенного напряжения степенная зависимость сменяется на экспоненциальную, в котором зависимость тока от напряжения подчиняется закону (5). Далее за степенной зависимостью наблюдается экспоненциальный участок в интервале напряжений от 1 В до 1,7 В, (рис. 6 ).

На экспоненциальном участке параметр  $A = 8,75 \cdot 10^{19}$ , полуширина полосы размытия примесного уровня составляет  $1/\alpha = 0,14$  эВ. Эти полученные данные, по-видимому, свидетельствуют об образовании глубокого энергетического уровня в запрещенной зоне  $n-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ . Эти параметры и «характеристическая» энергия не меняется во всем интервале температуры от 20 до 160 °С. Значения предэкспоненциального множителя  $I_0$  для выражения (5) переведены в таб.1.

Таблица 1.

Значения предэкспоненциального множителя –  $I_0$  для выражения (5) при различных температурах

t, °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	10 °C	12 °C	14 °C	16 °C
$I_{01}$ (мА)	7.6 2	1.1 5	7.2	8.2 9	8.2 9	9.8 4	8.8 8	10. 1

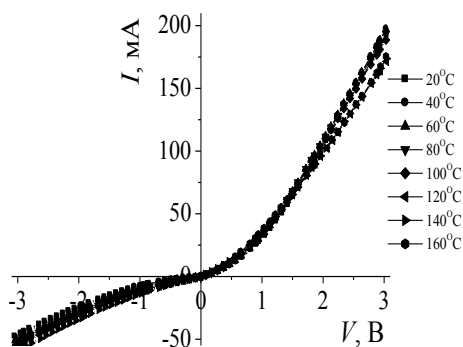


Рис.5 Вольтамперная характеристика  $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}(\text{GaP})_x$  гетероструктуры при различных температурах.

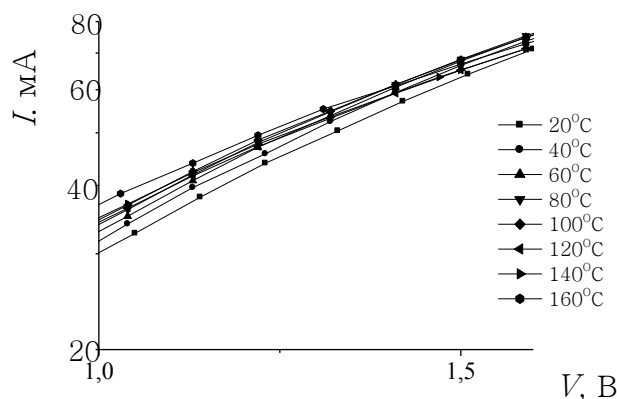


Рис.6. Прямая ветвь вольтамперная характеристика  $p\text{-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}(\text{GaP})_x$  гетероструктур в полулогарифмическом масштабе.

\* **GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1** \*

Таким образом, результаты исследований ВАХ показывают, что  $\text{p-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}(\text{GaP})_x$  гетероструктуры стабильно сохраняет параметры в интервале температуры от 20 до 160 °С. При этом, значения «характеристической» энергии, определенные по ВАХ, составляют 0,14 эВ.

На основе данных спектра фотолюминесценции и анализа ВАХ  $\text{p-Si-n-(Si}_2\text{)}_{1-x}(\text{GaP})_x$  гетероструктуры нарисована энергетическая зонная диаграмма твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  (рис.7). Молекулы  $\text{Si}_2$  в твердом растворе образуют полосу энергетических уровней расположенной на 1,47 эВ ниже дна зоны проводимости, причем полуширина полосы размытия составляет 0,14эВ.

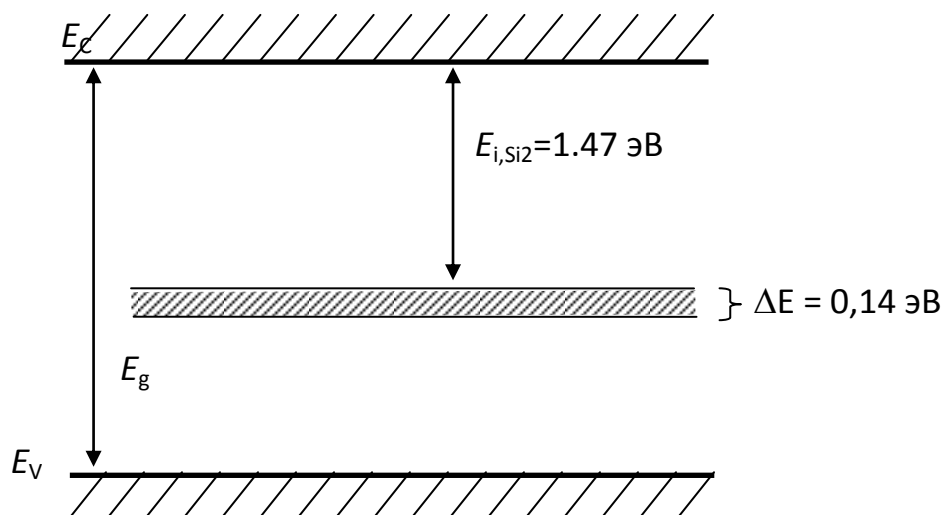


Рис. 7. Энергетическая зонная диаграмма твердого раствора  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ .

Излучательные свойства  $\text{nGaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  структур.

Нами были выращены эпитаксиальные слои твердого раствора  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  на подложке  $\text{n-GaP}$ , при температуре эпитаксии 800-750<sup>0</sup>С. При таком режиме выращивания концентрация кремния в твердом растворе  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  составляет ~ (1–2) мол.%. Выращенные слои имели n-тип проводимости, и была изготовлена структура  $\text{n-GaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$ .

Площадь изготовленной структуры составляла  $S = 4 \text{ mm}^2$ . Омические контакты были изготовлены из раствора индий-галлий. При приложении к структуре прямого смещения от 7 до 12 В, наблюдался свечение красного света (Рис.8).

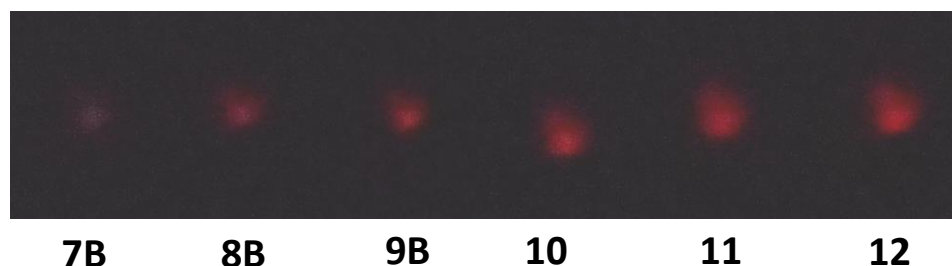


Рис.8. Свечение структуры  $\text{n-GaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$ , при подаче к нему прямого напряжения смещения.

Появления свечения красного света, по-видимому, связано с полосой энергетических уровней молекул кремния, образованной в запрещенной зоне твердого раствора.

### Выводы

В работе показано, что полупроводниковые соединения GaP при растворении в металлических растворителях, при температурах ниже их температуры плавления, находятся, в основном, в виде молекул и не распадаются на отдельные атомы. Наблюдался излучения красного света при приложении



**\* GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1 \***

прямого смещения (8-12) В к структуру  $n\text{-GaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$ , что свидетельствует об активном участие энергетических уровней молекул  $\text{Si}_2$  на электролюминесцентном процессе в исследованной структуре. На основе спектральной зависимости фотолуминесценции твердого раствора  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  определено значение энергетического уровня молекул  $\text{Si}_2$  -  $E_i = E_C - 1,47$  эВ. Анализируя ВАХ  $p\text{-Si-n}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  структуры, определена полуширина полосы размытия энергетического уровня молекул кремния, которая составляет  $\Delta E_{\text{Si}_2} = 0,14$  эВ.

Работа выполнена в рамках гранта ПФИ ФА-Ф2-003 АН РУз.

**Список литературы**

1. Саидов М.С., Кошчанов Э.А., Саидов А.С. Учет электронной структуры ионов и атомов при оценке обобщенного момента элементов. - Изв. АН УзССР, сер. физ.-мат. наук, 1981. №3. - С. 47
2. Саидов А.С. Жидкофазная эпитаксия метастабильных варизонных твердых растворов  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$ . ДАН УзССР, 1, 14, 1990. - С. 78-81.
3. Саидов А.С., Сапаров Д., Холиков К.Т. Получение  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaSb})_x$  на кремниевых подложках методом жидкофазной эпитаксии // Материалы международной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах». - Ташкент- 2007.- С. 130-131.
4. Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Амонов К.А., Саидов М.С., Кутлимуратов Б.Р. Photosensitivity of  $p\text{-Si-n}-(\text{Si}_2)_{1-x-y}(\text{Ge}_2)_x(\text{ZnSe})_y$  heterostructures with quantum dots. // *Applied Solar Energy*. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0003701X17040132>
5. Саидов А.С., Саидов М.С., Сапаров Д.В. Исследование спектра фотолуминесценции эпитаксиальной пленки  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{ZnS})_x$  ( $0 \leq x \leq 0,92$ ), выращенной на кремниевой подложке. // ДАН РУз. 2015 №6. - С. 21-25.
6. Кирсанова Т.С.. Формирование тонких пленок. - Ленинград, 1983. - 144 с.
7. Саидов А.С. Ширины запрещенной зоны  $E_g$  гетероструктуры в зависимости от параметра решетки для полупроводников IV группы, соединений III-V, II(IV-VI) и варизонных  $(\text{IV}_2)_{1-x}(\text{III-V})_x$ ,  $(\text{IV}_2)_{1-x}(\text{II-VI})_x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ). // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики». Материалы международной конференции, посвященной 15-летию независимости Узбекистана. - Ташкент. 26-27 октября 2006 г.- С. 279-281.
8. Саидов М.С. Замечания и предложения относительно исследований примесного фотоэлектрического эффекта // Гелиотехника: Ташкент, 2001.- №3.- С. 4-10.
9. Saidov M.S. Valence band impurity photovoltaic effect // Гелиотехника: Ташкент, 2001.- №1.- С. 3-6.
10. Саидов М.С. Электроактивность изовалентных примесей и фотовольтаический эффект. // Гелиотехника: Ташкент, 2005.- №3.- С. 67-72.
11. Адирович Э.И., Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. Токи двойной инжекции в полупроводниках. - М.: Сов. Радио, 1978. - 320 с.
12. Leiyderman A.Yu. Phys. St. Sol. (a), 1979. 55.- 991.
13. Карагеоргий-Алкалаев П.М., Лейдерман А.Ю. Фоточувствительность полупроводниковых структур с глубокими примесями. - Ташкент: «Фан», 1981.- 200 с.

**Аннотация**

$(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  ҚАТТИҚ ҚОТИШМАНИ ЎСТИРИШНИНГ ЎЗИГА ХОС ЖИҲАТЛАРИ ВА УНИНГ АСОСИДАГИ СТРУКТУРАЛАРНИНГ НУРЛАНИШ ХУСУСИЯТЛАРИ

А.С.Саидов, Ш.Н.Усмонов, Д.В.Сапаров, Ш.К.Ниязов

$(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  қаттиқ қоришманинг эпитаксиал қатламлари суюқ фазадан ўстирилган.  $A^{3B^5}$  яримўтказгичли бирикмалар металл эритувчиларда эритилганда, уларнинг эриш температурасидан паст ҳароратларда асосон молекула ҳолатида бўлиши ва алоҳида атомларга парчаланиб кетмаслиги кўрсатилган.  $n\text{-GaP-n}+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  структурага тўғри йўналишда 8-12В кучланиш берилганда қизил рангдаги нурланиш кузатилган. Бу нурланиш кремний молекулаларининг галлий фосфида тақиқланган соҳасида ҳосил қилаётган энергетик сатҳи билан боғланган.  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  қаттиқ қоришма фотолуминесценция спектрини таҳлил қилиш орқали кремний молекулаларининг галлий фосфида тақиқланган соҳасида  $\text{Si}_2$  -  $E_i = E_C - 1,47$  эВ га тенг энергетик сатҳи аниқланган.  $p\text{-Si-n}-(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  структуранинг ВАХини таҳлил қилиш орқали, кремний молекуласининг галлий фосфида ҳосил қилаётган энергетик сатҳининг кенглиги 0,14эВ га тенглиги аниқланган.

**Таянч сўзлар:** қаттиқ қоришма, эпитаксиал қатлам, суюқ фаза, энергетик сатҳ, кремний молекуласи, ярим ўтказгич.

**\* GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI AXBOROTNOMASI, 2019. № 1 \*****Аннотация****ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ТВЕРДОГО РАСТВОРА  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР НА ЕГО ОСНОВЕ**

А.С.Саидов, Ш.Н.Усмонов, Д.В. Сапаров, Ш.К.Ниязов

Эпитаксиальные слои твердого раствора  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  были выращены из жидкой фазы. Показано, что бинарное соединение GaP при растворении в металлических растворителях, при температурах ниже их температуры плавления, находится, в основном, в виде молекул и не распадается на отдельные атомы. Наблюдалось излучение красного света при приложении прямого смещения (8-12) В к структуру  $n\text{-GaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$ , которое обусловлено полосой энергетических уровней молекул кремния, расположенной в запрещенной зоне твердого раствора. Из спектра фотолуминесценции твердого раствора  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  определено значение энергетического уровня молекул  $\text{Si}_2 - E_i = E_C - 1,47$  эВ. Анализируя ВАХ  $p\text{-Si-n-}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  структуры, определена полуширина полосы размытия энергетического уровня молекул кремния, которая составляет  $\Delta E_{\text{Si}_2} = 0,14$  эВ.

**Ключевые слова:** твердый раствор, эпитаксиальный слой, жидкая фаза, энергетический уровень, молекула кремния, полупроводник.

**Summary****FEATURES OF GROWING SOLID SOLUTION  $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  AND RADIATIVE PROPERTIES OF STRUCTURES ON ITS BASIS**

A.S.Saidov, S.N.Usmonov, D.V.Saparov, Sh.K.Niyazov

The epitaxial layers of the  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  solid solution were grown from the liquid phase. It was shown that semiconductor compounds A3B5, when dissolved in metallic solvents, at temperatures below their melting points, are found mainly in the form of molecules and do not break up into separate atoms. The emission of red light was observed when a forward bias of 8-12 V was applied to the  $n\text{GaP-n}^+(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  structure, which indicates the energy level formed by silicon molecules in the forbidden zone of gallium phosphide. From the photoluminescence spectrum of the  $(\text{Si}_2)_x(\text{GaP})_{1-x}$  solid solution, the value of this level is determined, corresponding to  $\text{Si}_2 - E_i = E_C - 1,47\text{eV}$ . Analyzing the IVC of  $p\text{Si-n-}(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{GaP})_x$  structure, the bandwidth of the energy level of silicon molecules in the forbidden band of gallium phosphide was determined to be 0.14 eV.

**Key words:** solid solution, epitaxial layer, liquid phase, energy level, silicon molecule, semiconductor.